

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-262289
(P2001-262289A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U 5 E 0 4 1
38/34		38/34	
38/52		38/52	
H 0 1 F 1/16		H 0 1 F 1/16	A
1/18		1/18	
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)			

(21) 出願番号	特願2000-71508(P2000-71508)	(71) 出願人	000001258 川崎製鉄株式会社 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号
(22) 出願日	平成12年3月15日 (2000.3.15)	(72) 発明者	近藤 修 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(72) 発明者	小松原 道郎 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 (番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(74) 代理人	100059258 弁理士 杉村 暁秀 (外2名)
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 1 kHz 以上の周波域における磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板

(57) 【要約】

【課題】 1 kHz 以上の周波数域で特に優れた磁気特性を有する高周波リアクトル用無方向性電磁鋼板を提案する。

【解決手段】 Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005mass%以下に抑制するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に抑制してなる鋼板。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑制するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に抑制してなることを特徴とする1 kHz以上の周波域における磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板。

【請求項2】 Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5 mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1 mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1 mass%以下、Ni及びCoはそれぞれ5 mass%以下、Cuは1 mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、この不可避免の不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑制するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に抑制してなることを特徴とする1 kHz以上の周波域における磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板。

【請求項3】 鋼板の固有抵抗が $60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上、平均結晶粒径が $5 \sim 100 \mu\text{m}$ であって、鋼板表面に絶縁被膜を付与してなり、鉄損が $W_{1/10000}$ で 12 W/kg 以下、磁束密度が B_0 で 1.53 T 以上であることを特徴とする請求項1又は2記載の1 kHz以上の周波域における磁気特性に優れる無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば高周波リアクトルに用いて好適な無方向性電磁鋼板に関し、特に、1 kHz以上の周波数域で優れた磁気特性を持つ無方向性電磁鋼板を提案しようとするものである。

【0002】

【従来の技術】近年、地球環境の保護・改善を目的に、省エネルギー化への機運が高まっている。電気機器に注目すると、高効率化、省電力化のために、インバータ方式を採用する製品が増えてきており、その周波数も高効率化のために高周波域へと年々移ってきている。従来からインバータ化、高周波化に伴い、力率改善目的でリアクトルが使用されているが、更に電源汚染を防ぐ目的でインバータ機器に高周波リアクトルの使用が増してきている。これら高周波リアクトルは、1 kHz以上、更には10 kHz以上の周波数域で使用されることから、従来からある、通常の高周波対応珪素鋼板を用いたのでは、発熱が大きくなってしまい、使用することが困難であったため、特殊な材料を使用せざるを得なかった。

【0003】高周波鉄損を改善するためには、鋼の固有抵抗を高めることが重要であり、一般にはSiやAlの含有量を増す手法がとられていた。しかし、Si、Alの含有量

を増すと加工性が劣化し、通常の方法で製造することは困難であった。この製造性を改善する技術としては、高珪素鋼板に関する特開昭61-166923号公報に記載された低温強圧下の熱間圧延による方法や、特開昭62-227078号公報に記載されたSiの拡散浸透処理による方法などがある。しかし、いずれの技術も、高Si、Al鋼が本質的に具備する脆性を改善するものではなく、それによって製造された製品は加工性が極めて悪く、リアクトルコア等に加工するのが困難であった。また、前者の特開昭61-166923号公報に開示された技術は、合金としての脆性を見かけ上改善すべく圧延組織の微妙な調整が必要とするものであり、製造過程で厳密な制御を行わなければならないことから、工業的に安定して生産するのは困難である。一方、後者の特開昭62-227078号公報に開示された技術では、特殊な拡散浸透法を用いるため、工業的な製造を行う場合にはコストにおいて極めて不利であり、また、その結晶粒は粗大となることから、高周波鉄損には不利である。

【0004】実際、Siの拡散浸透処理による高Si材として、6.5 mass%Siを含有させた鋼板が存在し、インバータ用エアコン用のリアクトルコアとして使用されているが、その伸びは5%程度であり、通常の方法では打ち抜き加工や曲げ加工は困難であるため、短冊状に加工された鋼板を積層しリアクトルコアを製造している。通常の方法で曲げ加工や打ち抜き加工が可能であれば、巻きコアやE Iコアのような打ち抜き・積層コアを製造でき、その加工費用の低減に寄与するところは大い。

【0005】また、高Si量とせずに鋼の固有抵抗を高めるためにCrを添加する技術が、特開平11-229095号公報に記載されている。しかしながら、そのSiの含有量は通常の高珪素鋼板のその範囲を超えたものではなく、また、電気自動車用モータコア用素材を目的とし、その使用可能周波数域も、従来からの高周波用途の高珪素鋼板と同様に1 kHz未満の周波数に対応したものであり、1 kHz以上の高周波リアクトル用素材としては十分な高周波磁気特性が得られていなかった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来技術においては、1 kHz以上の周波数用途に利用できるまで固有抵抗を高めることは、Si、Alの利用の他は行われておらず、そして、鋼の固有抵抗を高めた高Si、Al鋼の素材自体が本質的にそなえる脆性を改善することは行われてなかったのが現状であった。

【0007】そこで、この発明は、上記の点に鑑み、高Si鋼の脆性を改善することで製造を容易にし製品の加工性の改善を図り、よって高い固有抵抗と良好な打ち抜き加工性及び曲げ加工性を併せ持ち、通常の圧延法にて製造可能で、最終焼鈍にて結晶粒径を高周波用に最適化可能である、1 kHz以上の周波数域で特に優れた磁気特性を有する高周波リアクトル用無方向性電磁鋼板を提案す

ることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】発明者らはFe-Si合金やFe-Si-Al合金について、高い固有抵抗と合金の良好な加工性の両立を達成すべく研究開発を行った末に、Crを共存させることが効果があるとの知見を得、その成果を特開平11-343544号公報に開示している。すなわち、これまでは、Fe-Si合金やFe-Si-Al合金において、Crを添加するほど靱性は劣化すると考えられてきたが、Siが3 mass%以上の含有量であっても、C及びNの含有量を十分に低減した上で、一定量以上のCrを含有させることにより、むしろ高い靱性が得られることを見出したものである。かかる技術を基に、発明者らは、更なる冷延性向上と10kHz以上の高周波磁気特性のみならず、1kHz～10kHz程度の周波数域の磁気特性を改善させることを目指して鋭意研究を重ねた結果、C及びNをそれぞれ0.005 mass%以下低減させることで、TiやNb等のC固定元素を添加することなしに冷延性を確保でき、しかも、低周波域から高周波域までの磁気特性に優れた鋼板が得られることを見出したものである。

【0009】また、一般にCr系のステンレス鋼において、TiやNbは、C及びNを固定し加工性を向上させる目的で用いられているが、Fe-Cr-Si系合金やFe-Cr-Si-Al合金においては、C及びNを十分に低減することで十分に加工性が得られるためにTiやNbが必ずしも必要ではない。むしろ、TiやNb使用によるC及びNの固定効果は発揮されないことを解明した。このことは、電磁鋼板においては、鉄損、特に履歴損を劣化させる成分であるTiやNbを用いなくとも加工性を向上できること、更には、Cr含有鋼が有する高い固有抵抗を最大限に利用できること、よって、通常の製造法で製造可能な高固有抵抗の電磁鋼板として応用可能であることを意味する。したがって、将来的に要求が高まりつつある1kHz以上の周波数域での使用でも鉄損が低い電磁鋼板が得られることを見出したものである。

【0010】併せて、Si量及びAl量が相対的に低いFe-Cr-Si系合金及びFe-Cr-Si-Al合金（以下、Fe-Cr-Si-Al合金も含めて「Fe-Cr-Si系合金」という。）であって、固有抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上となる成分系においても、C及びNの含有量を十分に低減すれば、同等の固有抵抗を持つCrを含有しない合金よりも加工性が大幅に向上することを見いだした。

【0011】この発明は上記知見に立脚するものである。すなわち、この発明は、Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、この不可避的不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑制するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に抑制してなることを特徴とする1kHz以上の周波数域における磁気特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0012】また、この発明は、Siが2.5～10mass%及びCrが1.5～20mass%を含有し、かつ、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を、Alは5 mass%以下、Mn及びPはそれぞれ1 mass%以下、Sb及びSnはそれぞれ1 mass%以下、Ni及びCoはそれぞれ5 mass%以下、Cuは1 mass%以下の範囲で含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなり、この不可避的不純物中のC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑制するとともに、Ti及びNbのうち少なくとも1種を0.005 mass%以下に抑制してなることを特徴とする1kHz以上の周波数域における磁気特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0013】この発明の無方向性電磁鋼板は、鋼板の固有抵抗が $60\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上、平均結晶粒径が5～100 μm であって、鋼板表面に絶縁被膜を付与してなり、鉄損が $W_{1/10000}$ で12W/kg以下、磁束密度が B_0 で1.53T以上であることを特徴とする請求項1又は2記載の1kHz以上の周波数域における磁気特性に優れた無方向性電磁鋼板であることが、より好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】この発明の無方向性電磁鋼板に関し、磁気特性については、CrをSi又はSi及びAlと同時に含有させることにより、固有抵抗の増大に相乗的な効果が表れる。その結果、特に高周波域での鉄損を、SiやAlのみ、ないしは、SiとAlを含有する合金系に比べ格段に低減することができる。

【0015】また、これまでの高固有抵抗の材料は圧延性が悪く、通常の圧延法によっては、0.5mm程度までしか減厚されていなかった。また、単に厚みを減じてもヒステリシス損失のために、十分な鉄損低減ができなかったとされてきた。しかし、発明者らの鋭意研究の結果、この発明にあるように、成分と純度を制御することにより、減厚した場合の高周波鉄損特性の効果を促進し得る。

【0016】したがって、この発明の無方向性電磁鋼板は、1kHz以上の周波数域での磁気特性が優れているため、インバーターエアコン用のリアクトルや太陽光発電等のリアクトル素材として最も適しており、この発明の鋼板を用いることで、各種特性を改善し、発熱が少なく、効率のよいリアクトル製品が達成できる。

【0017】以下、この発明を詳細に説明する。まず、この発明の無方向性電磁鋼板における成分組成範囲の限定理由について説明する。CrはSi及びAlとの相乗効果によって鋼の固有抵抗を大幅に向上させて、特に1kHz以上の周波数域での鉄損を低減し、更には耐食性を向上させる基本的な合金成分であり、しかも、3.5 mass%以上のSi含有量の場合、又は3 mass%以上のSi含有量かつ0.5 mass%を超えるAl含有量の場合であっても通常の圧延可能な程度の靱性を得るのに極めて有効であり、その観点

からは2 mass%以上を要する。Si量やAl量が上記の場合よりも少ないときには、Cr量を更に減しても加工性は確保できるが、Cr含有による加工性向上効果を発揮させ、かつ、鋼の固有抵抗を $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上とするためには、1.5 mass%以上のCrが必須である。一方、20mass%を超えると韌性向上の効果が飽和するとともに、コスト上昇を招くので、Crの含有量の範囲は、1.5 mass%以上、20mass%以下、好ましくは、2 mass%以上、10mass%以下、より好ましくは、3 mass%以上、7 mass%以下と規定する。

【0018】Siは、単独でも鋼の固有抵抗を上昇させるが、更に、Crとの相乗効果によって固有抵抗を大幅に上昇させ、特に1kHz以上の周波数域での鉄損を低減するのに有効な成分である。Si量が2.5 mass%未満ではCrやAlを併用しても磁束密度を余り犠牲にせずに $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上の固有抵抗を得るには至らず、このため、良好な高周波磁気特性は得られない。一方、10mass%を超えると、Crを含有させても通常圧延可能なまでの韌性が確保できないので、Siの含有量の範囲は、2.5 mass%以上、10mass%以下、好ましくは、2.5 mass%以上、7 mass%以下、より好ましくは、3.5 mass%以上、5 mass%以下と規定する。

【0019】C及びNは、Fe-Cr-Si系合金の韌性を劣化させるため、できる限り低減することが好ましく、その許容量はこの発明のCr量、Si量及びAl量の場合には、高韌性を確保するためにC及びNをそれぞれ0.005 mass%以下に抑える必要がある。好ましくは、それぞれ0.003 mass%以下、より好ましくはそれぞれ0.0015mass%以下がよい。特に圧延性を向上させるためには、Cの低減が効果的であり、特にC量を0.003 mass%以下とすることで、圧延性が格段に向上する。

【0020】Ti及びNbは、通常のCr含有鋼における加工性改善成分である反面、磁気特性を劣化させる成分である。この発明における加工性の改善は、Crの添加とC及びNを低減させることで達成するため、Ti及びNbが有する加工性改善作用は必要としない。このため、Ti及びNbはできる限り低減するのが磁気特性の観点から好ましい。もっとも、不可避的不純物としてのTi及びNbのうち、いずれか一方を低減することにより磁気特性の改善は可能である。これらのことから、この発明では、Ti及びNbのうち少なくとも1種を低減することとし、Ti及びNbの許容量はそれぞれについて、磁気特性の観点から0.005 mass%以下に限定する。

【0021】C、N、Ti及びNb以外の不純物量は特に限定されないが、一般の珪素鋼と同様に、磁気特性及び加工性を良好に保つためには、以下の範囲に制限することが重要である。Sは0.005 mass%以下、好ましくは0.002 mass%以下、より好ましくは0.001 mass%以下がよい。Oは0.005 mass%以下、好ましくは0.003 mass%以下、より好ましくは0.0015mass%以下がよい。Vは0.00

5 %以下、好ましくは0.002 mass%以下、より好ましくは0.0015mass%以下がよい。その他、La、Mg等も極力低減させることが好ましい。

【0022】この発明の無方向性電磁鋼板は、上述したSi、Crに加えて、Alよりなる群、Mn及びPから選ばれる1種又は2種よりなる群、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種よりなる群、並びに、Ni、Cu、Coから選ばれる1種又は2種以上よりなる群の1群又は2群以上の成分を含有させることができる。

【0023】Alは、Siと同様にCrとの相乗効果によって鋼の固有抵抗を大幅に向上させ、高周波域での鉄損を低減するのに有効な成分であるので、この発明では、必要に応じてAlを含有させることができる。しかし、Al量が5 mass%を超えると、コスト上昇を招くうえに、この発明のようにSiを2.5 mass%以上含有する鋼では、Crを多量に含有させても通常の圧延が可能なまでの韌性が確保できないので、Alの含有量は5 mass%以下とする。Alの下限は特に限定する必要がないが、脱酸や結晶粒成長性の改善のために0.005 ~0.3 mass%程度を含有させることがある。更に、Alを積極的に固有抵抗の増大のために活用するときは、この発明のようにSiが2.5 mass%以上含有されている鋼ではAlが0.5 mass%未満では固有抵抗を更に上昇させるに十分な効果が得られない。したがって、好ましくはAlの含有量は0.05mass%以上、5 mass%以下、より好ましくは0.5 mass%以上、3 mass%以下である。

【0024】Mn及びPは、Fe-Cr-Si系合金に更に添加することにより、一層の固有抵抗の上昇を与えることが知られている。これらの成分の添加により、この発明の趣旨が損なわれることなく、更なる鉄損の低減が達成できる。そこで、この発明では、Mn、Pの中から選ばれる1種又は2種を含有させることができる。とはいえ、これらの成分を大量に添加するとコスト上昇を招くので、それぞれの添加量は1mass%を上限とする。より好ましくは0.5 mass%以下がよい。

【0025】Sb及びSnは、いずれも集合組織を改善する作用を有し、それにより製品の磁気特性向上に寄与する。したがって、この発明では、Sb及びSnから選ばれる1種又は2種を、それぞれ1 mass%以下の範囲で添加させることができる。Sb量やSn量が1 mass%を超えると効果は薄れ、また、コストの上昇を招くことからSb量、Sn量の上限は1 mass%とする。なお、Sb量、Sn量の下限は特に限定するものではないが、前述したSb、Snの添加効果を十分に発揮させるためには、それぞれ、0.001 mass%以上を添加することが好ましい。

【0026】Ni及びCuは、いずれも磁気特性を改善する作用を有する。また、延性-脆性遷移温度を下げて、加工性を向上させる。更に、結晶粒径を細粒化する作用を有するため、渦電流損を低減させる効果がある。また、いずれも製品の耐食性、耐候性を改善する作用を有す

る。したがって、この発明では、所望の諸特性に応じて、NiやCuを含有させることができる。Ni量が5 mass%を超える場合やCu量が1 mass%を超える場合は、いずれも、前述の効果が飽和するばかりか、飽和磁束密度を著しく低下させるため、また、延性を劣化させ、更には、コスト上昇を招くことから、Ni、Cuの含有量の上限はそれぞれ5 mass%、1 mass%とする。なお、Ni量、Cu量の下限は特に限定するものではないが、前述したNi、Cuの添加効果を十分に発揮させるためには、それぞれ、0.005 mass%以上を含有させることが好ましい。

【0027】Coは、磁束密度を高め、製品の磁気特性を向上させる作用を有する。したがって、この発明では、Coを含有させることができる。Co量が5 mass%を超える場合、コスト上昇を招くことから、Co含有量の上限は5 mass%とする。なお、Co量の下限は特に限定するものではないが、前述した添加効果を十分に発揮させるためには、0.005 mass%以上を含有させることが好ましい。

【0028】この発明の成分の鋼板においては、板厚を減じれば高周波鉄損特性改善の効果を促進するが、この減厚の効果を格段に得るためには、板厚を0.4 mm以下とすることが有効である。ただし、0.01mmより薄くするには、製造コストが高くなるばかりか、その鋼板の取扱いに格段の注意が必要で、製品製造のコストも高くなるために、板厚の範囲を0.01mm以上、0.4 mm以下とするのが好ましい。更に好ましくは、0.02~0.25mmである。

【0029】優れた高周波鉄損を達成するには固有抵抗を高めることが必要であり、この発明の鋼では、少なくとも $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上が望ましい。 $60\mu\Omega\text{cm}$ より固有抵抗が低いと、板厚をいかに薄くしても所望の高周波鉄損は得られないため、この発明では固有抵抗は $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上とするのが好ましい。

【0030】この発明の鋼板は、平均結晶粒径が $5\mu\text{m}$ 以上、 $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。高周波域の鉄損は渦電流損が大きな割合をもち、この渦電流損は鋼板の平均結晶粒径を小さくすることで低減できる。すなわち、鋼板の平均結晶粒径を $100\mu\text{m}$ 以下にすることにより、高周波域での鉄損特性を一層向上させることが可能となる。平均結晶粒径が $100\mu\text{m}$ を超えると高周波域の鉄損が特に劣化し、所望の鉄損特性が得られなくなるために、また、平均結晶粒径が $5\mu\text{m}$ 未満では、通常の製造では制御が困難で整粒の組織が得られず、磁気特性が劣化するために、この発明では平均結晶粒径の上限を $100\mu\text{m}$ 以下、下限を $5\mu\text{m}$ 以上とするのが望ましい。

【0031】この発明は主に1kHz以上の周波数用途に使用される鋼板を提供することを目的としており、このため鉄損は商用周波数での特性のみならず、高周波域、特に10kHz程度の周波数での磁気特性に優れることが必要である。この周波数域での鉄損が大きいと、機器の発熱が大きくなり使用ができなくなるために、できるだけ鉄損を低減する必要がある。また、磁束密度が高けれ

ば、効率の改善、機器の小型化が可能となるために、できるだけ磁束密度が高いほうがよい。したがって、この発明では鉄損値及び磁束密度を、 $W_{1/10000} \leq 12\text{W/kg}$ 、 $B_{50} \geq 1.53\text{ T}$ とするのが好ましい。特に、例えば板厚が0.1 mmの鋼板については、 $W_{1/10000}$ は 10W/kg 以下が好ましく、より好ましくは 8W/kg 以下である。

【0032】この発明の無方向性電磁鋼板は、以下の方法により製造することができる。前述した成分組成範囲に調整された合金素材は、連続鋳造又は造塊一分塊圧延によりスラブとすることができる。また、薄スラブ連続鋳造法を用いて、厚みの薄いスラブを製造することもできる。得られたスラブは、加熱保持後に熱間圧延に供するか、また、CC-DR法やHCR法のように、連続鋳造時の顕熱を保持したまま加熱することなく熱間圧延に供することができる。

【0033】その後の熱間圧延は、極力薄く圧延することによって、次工程の冷間圧延ないしは温間圧延における加工性、すなわち圧延性を良好にすることができる。これは、この発明のFe-Cr-Si系合金組成の場合には、熱延板の表面部分の方が中心部分よりも韌性が高く、加工性が優れているとの新知見に基づくものである。そのための熱延板の厚みは3 mm以下、好ましくは2.5 mm以下、より好ましくは1.5mm以下とする。

【0034】熱間圧延後は、必要に応じて熱延板焼鈍を行う。熱延板焼鈍を行うことにより、圧延された素材の集合組織が改善され、鉄損特性の向上に有利に作用する。この熱延板焼鈍条件は、例えば、温度 $700 \sim 1100^\circ\text{C}$ 、時間1秒~2時間で行う。焼鈍温度が高い場合や焼鈍時間が長い場合は、焼鈍効果が飽和して鉄損特性の一層の改善が見込めないこと及びコスト上昇の要因となること、焼鈍温度が低い場合や焼鈍時間が短い場合は鉄損特性の向上効果が小さいことから、これらの作用効果を考慮して上記の範囲内で定めれば良い。

【0035】熱間圧延後又は必要に応じて行った熱延板焼鈍後は、酸洗もしくはショットブラスト等により熱延スケールを除去した後に、冷間圧延や温間圧延を行う。素材成分と純度の調整により熱延板の韌性が改善されているため、更に温間や冷間で圧延して0.4 mm以下の厚みの薄板とすることができる。一般に、板厚を減じると、とりわけ高周波において渦電流損が有利に抑制され、低鉄損になることは周知である。しかし、従来は高固有抵抗の材料は圧延性が悪く、通常の圧延法によっては0.5 mm程度までしか減厚されていなかった。また、単に厚みを減じてもヒステリシス損失のために、十分な鉄損低減ができないとされてきた。この点、この発明では、素材成分と純度を調整することにより、減厚した場合の高周波鉄損特性の効果を促進し得る。かかる減厚の効果を得るためには、板厚を0.4 mm以下とすることが有効である。もっとも、0.01mmよりも薄くするには、コスト上、工業的に無理があるので、板厚の範囲を0.01~0.4 mm、

好ましくは0.02~0.25mmと規定する。

【0036】以上のような冷間圧延や温間圧延は、1回の圧延又は途中焼鈍を含む2回以上の圧延により行う。途中焼鈍を行うことは、圧延材の集合組織の改善を通じて磁気特性の向上に有利に作用する。また、この冷間圧延や温間圧延の作業性を改善することができる。途中焼鈍の条件は、例えば、温度600~1100℃で時間1秒~10分の範囲とする。焼鈍温度が低い場合や焼鈍時間が短い場合は鉄損特性の向上効果が小さいこと、焼鈍温度が高い場合や焼鈍時間が長い場合は、焼鈍効果が飽和して鉄損特性の一層の改善が見込めないこと及びコスト上昇の要因となることから、これらの作用効果を考慮して上記の範囲内で定めれば良い。ここで、冷間圧延及び温間圧延は、コストの面からできるだけ低い温度とすることが好ましい。温間圧延を行う場合は、300℃程度以下の温度とすることが望ましい。

【0037】冷間圧延、温間圧延の後には、仕上げ焼鈍を施し、更に絶縁被膜を被成して製品とする。これらの仕上げ焼鈍の条件、絶縁被膜の被成条件に関しては、通常

の電磁鋼板や電磁ステンレス鋼板で常用される方法と同様にすればよい。さらに素材成分を調整すること及び／又は仕上げ焼鈍の温度条件を制御することにより、平均結晶粒径を100μm以下にすることができる。

【0038】

【実施例】表1に示す成分組成を含み、残部がFe及び不可避的不純物からなる鋼を溶製し、連続鑄造によりスラブとし、鑄造完了後は保温措置をとり12時間以内に熱延前の加熱のため、加熱炉へ挿入し、熱間圧延により板厚2.0mmの熱延板とした。これら熱延板のスケールを除去した後に、板厚0.35mmまで冷間圧延を行い、温度800℃で10秒間の中間焼鈍を水素・窒素混合雰囲気中で行った。これら鋼板を更に冷間圧延によって厚さ0.1mmとし、820℃で10秒間の最終焼鈍を水素・窒素混合雰囲気中で行い、絶縁被膜を付与した。得られた製品をエプスタイン試料に切り出し、JIS C 2550 (1975年) に準じて磁性を測定結果を表2に示す。

【0039】

【表1】

記号	成分 (mass%)															備考
	Si	Cr	Al	Mn	P	Sb	Sa	Ni	Cu	Co	C	N	Ti	Nb	S	
A	2.32	2.59	0.01	0.01	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0021	0.0018	0.0015	0.0018	0.0012	比較例
B	2.53	5.93	0.01	0.01	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0016	0.0023	0.0018	0.0014	0.0011	実施例
C	2.51	5.91	4.81	0.01	0.002	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0014	0.0013	0.0011	0.0008	0.0009	実施例
D	3.58	4.98	0.01	0.01	0.002	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0022	0.0017	0.0021	0.0023	0.0014	実施例
E	3.52	5.03	1.53	0.01	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0032	0.0035	0.0018	0.0015	0.0016	実施例
F	4.52	4.05	0.01	0.01	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0021	0.0032	0.0013	0.0018	0.0009	実施例
G	4.48	4.06	0.87	0.94	0.152	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0018	0.0021	0.0017	0.0016	0.0012	実施例
H	4.54	3.99	0.025	0.02	0.008	0.04	0.06	Tr	Tr	Tr	0.0016	0.0018	0.0021	0.0023	0.0017	実施例
I	4.52	4.03	0.023	0.02	0.092	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0031	0.0032	0.0031	0.0034	0.0018	実施例
J	4.51	4.08	0.021	0.02	0.082	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0062	0.0035	0.0021	0.0024	0.0023	比較例
K	4.53	4.11	0.26	0.24	0.010	Tr	Tr	1.23	0.85	Tr	0.0019	0.0007	0.0006	0.0008	0.0007	実施例
L	4.47	4.08	0.24	0.23	0.006	Tr	Tr	Tr	Tr	0.84	0.0025	0.0032	0.0014	0.480	0.0017	実施例
M	4.48	4.06	0.64	0.01	0.025	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0068	0.0056	0.0026	0.0019	0.0017	比較例
N	4.51	3.98	0.025	0.02	0.021	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0034	0.0046	0.015	0.012	0.0025	比較例
O	4.53	Tr	0.21	0.18	0.005	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0008	0.0006	0.0011	0.0009	0.0007	比較例
P	4.48	1.23	0.23	0.28	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0007	0.0005	0.0009	0.0012	0.0011	比較例
Q	5.62	4.85	0.02	0.03	0.004	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0012	0.0016	0.0013	0.0012	0.0008	実施例
R	6.53	18.2	0.01	0.02	0.003	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.0019	0.0007	0.0009	0.0008	0.0005	実施例

【0040】

【表2】

No.	溶鋼 記号	固有抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	平均結晶粒径 (μm)	$W_{100/1000}$ (W/kg)	$W_{10/10000}$ (W/kg)	B_{10} (T)	伸び (%)	製板性	備考
1	A	55	45	32.1	18.5	1.625	21.5	良	比較例
2	B	71	50	29.8	12.4	1.595	22.3	良	実施例
3	C	139	35	16.5	6.24	1.531	14.3	良	実施例
4	D	81	30	18.2	8.94	1.585	21.8	良	実施例
5	E	107	35	17.6	7.15	1.535	13.5	良	実施例
6	F	88	25	15.3	8.25	1.558	21.3	良	実施例
7	G	103	20	14.2	7.26	1.545	12.5	良	実施例
8	H	88	30	14.8	8.56	1.56	15.8	良	実施例
9	I	88	35	15.1	8.96	1.554	14.3	良	実施例
10	J	88	—	—	—	—	—	破断	比較例
11	K	93	25	16.9	7.89	1.556	16.4	良	実施例
12	L	92	20	17.8	7.56	1.618	15.4	良	実施例
13	M	99	—	—	—	—	—	破断	比較例
14	N	88	30	32.5	10.25	1.524	8.9	割れ	比較例
15	O	72	—	—	—	—	—	破断	比較例
16	P	78	—	—	—	—	—	破断	比較例
17	Q	102	30	17.8	7.31	1.538	14.2	良	実施例
18	R	133	25	18.4	6.45	1.532	11.3	良	実施例

【0041】表2に示す結果から、Crがこの発明の範囲外のNo.15及び16並びにC、Nがこの発明の範囲外であるNo.10及び13は、冷延過程で鋼板破断が生じ、製板不可能であった。それに対し、この発明の範囲の成分のものは、冷延性も良好で且つ、1kHz及び10kHzという周波数域において良好な磁気特性であった。また、No.1はSiがこの発明の範囲外で、固有抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ に満たない比較例であり、冷延性は良好であるが、1kHz以上の周波数域での磁気特性が悪いものである。また、No.14

はTi若しくはNbがこの発明の範囲を超えるものであり、高周波鉄損は良好であるが、低周波側(1kHz)の鉄損が、Ti、Nbを低減させた実施例と比較し劣化していることがわかる。

【0042】

【発明の効果】以上のごとく、この発明の無方向性電磁鋼板は、優れた高周波鉄損と磁束密度を併せ持ち、高周波用として特に好適であり、その工業的価値は大である。

フロントページの続き

(72)発明者 藤田 明男
岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

Fターム(参考) 5E041 AA11 AA19 BC01 CA02 NN01
NN06 NN13 NN15